

El Líder Mundial en Tecnología de Cuerda Vibrante

48 Spencer Street
Lebanon, NH 03766, USA
Tel: 603•448•1562
Fax: 603•448•3216
E-mail: geokon@geokon.com
http://www.geokon.com

Manual de Instrucciones

Modelo 4000

(y 4050)

Deformímetro de Cuerda Vibrante





(Doc Rev V, 10/10)

Declaración de Garantía

Geokon, Inc. garantiza que sus productos están libres de defectos en cuanto a materiales y mano de obra, bajo uso normal y operación por un periodo de 13 meses a partir de la fecha de compra. En caso que la unidad no funcionara correctamente, debe regresarse a la fábrica para evaluación, con flete pre pagado. Después que Geokon la haya examinado, si se encuentra que la unidad está defectuosa, será reparada o reemplazada sin cargo alguno. Sin embargo, la GARANTIA es NULA si la unidad muestra evidencia de haber sido manipulada o muestra evidencia de que se dañó como resultado de excesiva corrosión o corriente, calor, humedad o vibración, especificación inapropiada, aplicación equivocada, mal uso u otras condiciones operativas fuera del control de Geokon. No están garantizados los componentes que se desgasten o se dañen por mal uso. Esto incluye fusibles y baterías.

Geokon manufactura instrumentos científicos cuyo uso inapropiado es potencialmente peligroso. Los instrumentos deberán ser instalados y usados solamente por personal calificado. No se ofrecen otras garantías aparte de las declaradas. No hay otras garantías, expresas o implícitas, incluyendo a manera enunciativa pero no limitativa las garantías implícitas de comerciabilidad e idoneidad para un propósito particular. Geokon, Inc. no es responsable por daños o pérdidas ocasionadas a otros equipos, ya sean directos, indirectos, incidentales, especiales o consecuenciales que el comprador pueda sufrir como resultado de la instalación o uso del producto. El único recurso del comprador por cualquier incumplimiento de este convenio por parte de Geokon, Inc. o por cualquier violación de cualquier garantía por parte de Geokon, Inc. no excederá el precio de compra pagado por el comprador a Geokon, Inc. por la unidad o unidades, o del equipo afectado directamente por dicha violación. Bajo ninguna circunstancia Geokon reembolsará al reclamante las pérdidas incurridas al retirar y/o reinstalar el equipo.

Se han tomado todas las precauciones en cuanto a exactitud en la preparación de manuales y/o software, sin embargo, Geokon, Inc. no asume responsabilidad alguna por omisiones o errores que puedan aparecer ni asume responsabilidad alguna por daños o pérdidas que resulten del uso de los productos de acuerdo con la información contenida en el manual o software.

INDICE

LISTA DE FIGURAS, TABLAS y ECUACIONES

1. INTRODUCCION

El objetivo principal del Deformímetro de Cuerda Vibrante Geokon Modelo 4000 es para mediciones a largo o corto plazo de deformaciones en elementos estructurales de acero como galerías subterráneas, arcos, puntales, pilotes, tablestacas, etc.

Los medios principales de fijación es mediante soldadura por arco, pero también se pueden usar para monitorear los cambios en la deformación en concreto o superficies rocosas usando anclajes cementados en barrenos.

Las deformaciones se miden usando el principio de cuerda vibrante: una extensión de cable de acero tensado entre dos bloques de montaje que están soldados a la superficie en estudio. Las deformaciones (es decir, los cambios) de la superficie provocan que dos bloques de montaje se muevan entre si, alterando por lo tanto la tensión en el cable de acero. La tensión en el cable se mide dando un tirón al cable y midiendo su frecuencia resonante de vibración. Se arranca el cable y se mide su frecuencia resonante por medio de una bobina magnética colocada junto al cable. Ver la Figura 1.

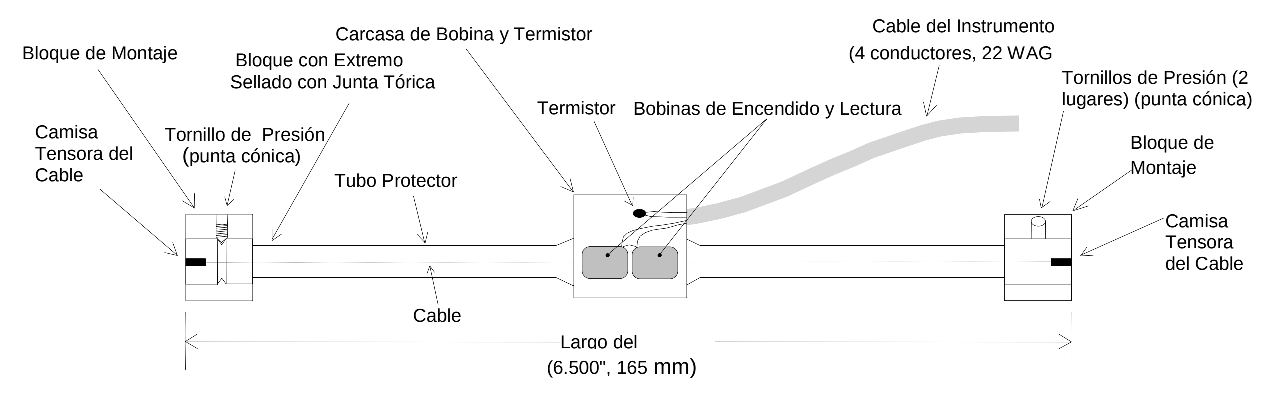


Figura 1 - Deformímetro de Cuerda Vibrante Modelo 4000

Las consolas de lectura portátiles disponibles de Geokon, usadas conjuntamente con el Deformímetro de Cable Vibrante, proporcionarán la excitación necesaria para arrancar el cable y convertirán la frecuencia medida para desplegar la lectura directamente en micro esfuerzos.

Este manual contiene instrucciones de instalación, instrucciones para la lectura y procedimientos recomendados para el mantenimiento y solución de problemas. También se proporciona la teoría del medidor, junto con algunas sugerencias para la interpretación de datos.

FAVOR DE TOMAR NOTA DE LO SIGUIENTE:

- ***El Deformímetro de Cuerda Vibrante Modelo 4000 no es adecuado para medir las deformaciones dinámicas o que cambian rápidamente.***

2. INSTALACION DEL MEDIDOR - GENERAL

2.1 Pruebas Preliminares

Es aconsejable una verificación preliminar y se realiza colocando el montaje de la bobina en el medidor y conectándolo a la Consola de Lectura GK-401, GK-402 O GK-403. Cambie el selector de posición a "C" y encienda la unidad. Mientras jala cuidadosamente los bloques extremos del Deformímetro, observe la lectura; se verá que aumenta con el aumento de tensión. No aplique una tensión excesiva, (<10Kgm (20lbs)), ya que el cable se podría romper. El rango de lectura nominal es de 1000 a 4000 micro esfuerzos. El rango nominal de lectura es de 1000 a 4000 micro esfuerzos. El rango medio es aproximadamente de 2500 micro esfuerzos.

Verifique la resistencia entre los dos conductores principales (rojo y negro). Debe ser de alrededor 180 ohms. Si el Deformímetro contiene un termistor, verifique su resistencia entre los cables principales blanco y verde. (La resistencia debe ser de alrededor 3000 ohms a 25 grados C). Verifique la lectura contra la que se debe obtener a la temperatura ambiente existente. Ver el Apéndice C para la resistencia versus correlación de la temperatura.

Devuelva cualquier Deformímetro defectuoso a la fábrica. Los Deformímetros no se deben abrir en el campo.

2.2 Arcosoldado de los Bloques de Montaje a Superficies de Acero - Usando la Barra Espaciadora.

El Deformímetro de Cuerda Vibrante Modelo 4000 está fijado a bloques de montaje que primero se deben arcosoldar a la superficie de acero que se va a estudiar. Se usa una barra espaciadora y una plantilla espaciadora para espaciar correctamente los dos bloques. La Figura 2 muestra el procedimiento: los dos bloques de montaje están encajados sobre los extremos de la barra espaciadora y se usa la plantilla para posicionarlos correctamente, mientras que los tornillos de presión en los bloques de montaje se aprietan en la barra espaciadora. Evite apretar excesivamente ya que esto solamente dañaría indebidamente la barra espaciadora.

Los bloques de montaje se proveen en pares, uno tiene un solo tornillo de presión de punta cónica, el otro tiene dos prisioneros de punta cónica.

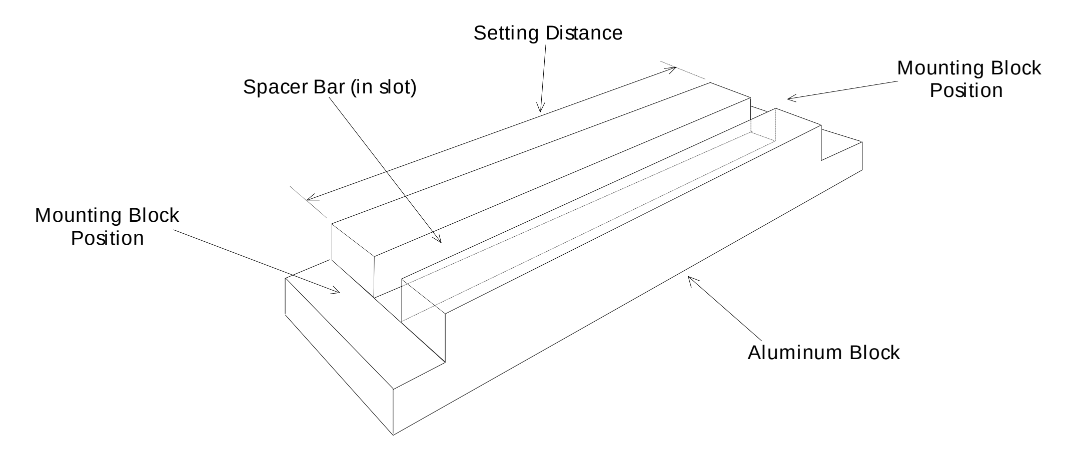


Figura 2 - Plantilla Espaciadora

2.3 Secuencia del Arcosoldado

La superficie de acero se limpia usando un cepillo de cerdas de alambre para quitar todas las capas de óxido, tierra y aceite. Después se retiran los bloques de la plantilla y se presionan firmemente contra la superficie de acero usando la barra espaciadora como manija. Las orillas de los bloques de montaje se sueldan en el orden que se muestra en la Figura 3.

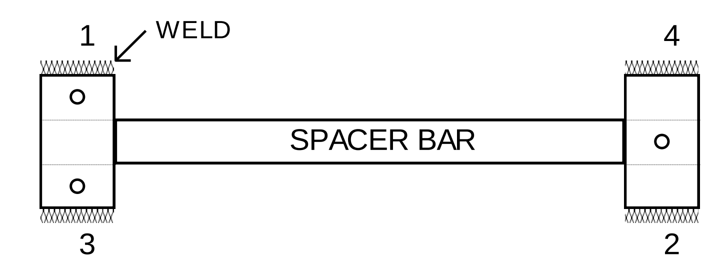


Figura 3 - Secuencia de Soldado para los Bloques de Montaje

Evite el calor excesivo y NO SUELDE LAS SUPERFICIES PLANAS DE LOS EXTREMOS ya que esto evitará que se pueda retirar la barra espaciadora. Evite salpicaduras del soldado que se podrían pegar a la barra espaciadora. **Para apresurar el procedimiento, cuando se instalan muchos deformímetros, es ventajoso tener más de una barra espaciadora.**

Después del soldado, enfríe los bloques de montaje con un trapo mojado, después afloje los tornillos de presión y deslice hacia afuera la barra espaciadora. Limpie todas las escorias usando un martillo de cincelar y un cepillo de cerdas de alambre. (Opcional: Pinte la superficie para suministrar alguna protección contra la corrosión).

2.4 Fijando el Deformímetro

Cuando los bloques de montaje se han soldado en su lugar, el deformímetro se puede deslizar en los agujeros en los bloques de montaje. Un extremo del deformímetro tiene una ranura en V - asegúrese que este extremo vaya en el bloque de montaje que tiene el único tornillo de presión de punta cónica. Apriete este tornillo en la ranura en V. Ahora sujete firmemente la carcasa de la bobina alrededor del deformímetro y conéctela a la Consola de Lectura (**Canal C)**. Establezca la lectura inicial en el deformímetro al nivel correcto dependiendo de si se anticipan deformaciones por compresión o tensión. El rango utilizable del deformímetro es alrededor de 1000 a 4000 micro esfuerzos. El rango medio de la lectura es de 2500. Se puede ajustar la lectura simplemente jalando o empujando el extremo libre del deformímetro. Los deformímetros se embarcan con una lectura de alrededor de 3000 a 3500. Este nivel es adecuado para deformaciones por compresión. Si se van a medir deformaciones por tensión fije la lectura inicial alrededor de 1500.
Cuando se ha logrado la lectura deseada, apriete bien en el extremo del deformímetro. Apriete la abrazadera del tubo en la carcasa de la bobina: apriete bien usando una llave de tuercas. **Termine dando golpecitos ligeros, por ejemplo, con el mango de un desatornillador, para eliminar cualquier tensión de la instalación y estabilizar la lectura inicial. Continúe dando golpes ligeros hasta que la lectura permanezca estable.**

2.5 Lecturas Iniciales

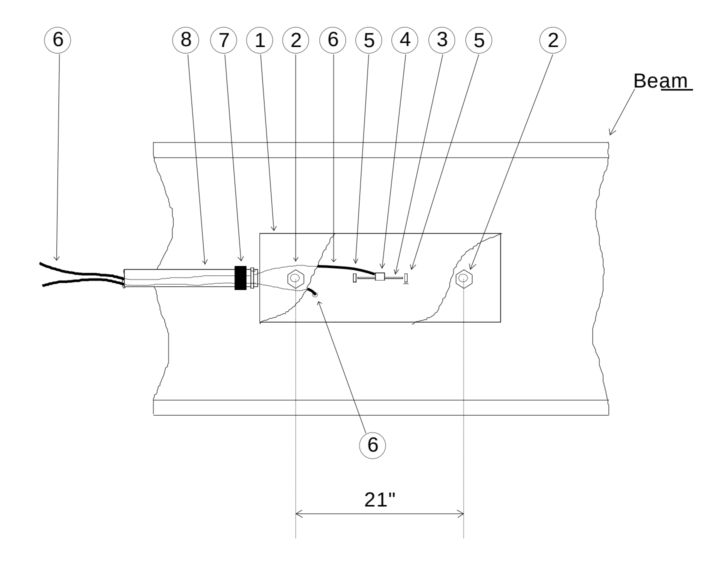
Todas las lecturas se refieren a una lectura inicial, por lo que **es importante que se tome cuidadosamente esta lectura inicial**. Recuerde dar los golpes ligeros a los deformímetros como se describió en la sección 2.4. Es preferible instalar los deformímetros en piezas de acero, que se encuentren todavía en una condición de sin carga, es decir, antes de su montaje en la estructura. De esta manera las lecturas iniciales corresponden a una carga cero, de otra manera, si la pieza se encuentra bajo carga las lecturas iniciales corresponderán a algún nivel de carga desconocido.

3. PROTECCION DEL DEFORMÍMETRO

3.1 La protección contra la corrosión en los puntos de soldadura se logra aplicando una capa de pintura anticorrosiva.

3.2 La protección contra la luz solar directa y cambios rápidos en la temperatura ambiente se logra mejor cubriendo los deformímetros con una capa de material aislante. Esto puede ser importante debido a que el deformímetro se puede calentar o enfriar mucho más rápido que el acero subyacente y esto puede dar bastantes lecturas falsas. El coeficiente térmico de expansión de la cuerda vibrante de acero es el mismo que para el acero de la estructura a la cual se fija el deformímetro, por lo que **no se requiere una corrección de la temperatura al esfuerzo medido cuando se calculan los esfuerzos de carga inducidos.** Sin embargo, esto solamente es cierto si el cable y el acero subyacente están a la misma temperatura. Si se permite que la luz solar repercuta directamente en el medidor, entonces esto podría elevar la temperatura del cable por encima del acero circundante y ocasionar grandes cambios en el esfuerzo aparente. **Por lo tanto, siempre proteja los deformímetros de la luz solar directa.** También, evite el manejo excesivo del deformímetro antes de tomar las lecturas cero. En cualquier caso, siempre es buena idea registrar la temperatura cada vez que se toma una lectura, para que se puedan evaluar las cargas y esfuerzos ocasionados únicamente por cambios en la temperatura. **(Ver también el Apéndice E y G).** Para facilitar la medición de la temperatura, cada deformímetro tiene un termistor encapsulado junto con la bobina de encendido. El termistor está conectado a los conductores verde y blanco. Las cajas lectoras GK403 y GK404 despliegan la temperatura directamente en grados C. También se puede usar un ohmímetro. (La relación entre resistencia y temperatura se muestra en el Apéndice C).

3.3 Se puede obtener una protección contra daño mecánico usando las cubiertas protectoras fabricadas por Geokon (Ver la Figura 4). Dos pernos con cabeza hexagonal de 3/8 x 2 pulgadas de largo que sostendrán las cubiertas protectoras se deben soldar con la cabeza hacia abajo. Las cubiertas protectoras especiales están fabricadas de chapa de acero en la forma de un canal. Para obtener el espaciado correcto para los pernos está disponible una plantilla o la cubierta protectora se puede invertir y usar los agujeros para marcar las ubicaciones de los pernos. Los agujeros están espaciados a 21 pulgadas nominales (530mm): un agujero está ranurado para que el espaciado no sea crítico. No se deben colocar pernos dentro de 6 pulgadas del deformímetro y no se debe usar una fuerza excesiva al apretar la cubierta que retiene las tuercas ya que esto distorsionará la superficie de acero subyacente y puede dar origen a lecturas falsas. También evite soldar en algún lugar cerca del deformímetro ya que esto también ocasionará grandes distorsiones locales del metal. Se puede usar una pistola soldadora de pernos especial o soldadura por arco eléctrico para soldar la cabeza de la tuerca de 3/8 pulgadas (9mm) a la superficie de acero.
Apriete las dos tuercas hexagonales que sostienen las cubiertas protectoras en su lugar.



Clave	Descripción	Fabricante	Número de Parte
1	Cubierta Protectora de Acero Galvanizado	Geokon	4000-6
2	Perno de 3/8” x 2" (9mm x 50mm)		
3	Deformímetro Modelo 4000	Geokon	4000
4	Bobina de Encendido del Deformímetro	Geokon	4000-1
5	Bloques de Montaje para el deformímetro	Geokon	4000-4
6	Cables del Deformímetro	Geokon	02-187V3
7	Conector de Tubos Protectores	T&B	5231
8	Tubos Protectores Flexibles	SealTite	3/8"

Figura 4 - Instalación Típica de Cubierta Protectora

3.4 Protección de cables y conectores

El cable debe estar protegido de daño accidental al mover el equipo o por fragmentos de rocas. Esto se logra mejor poniendo el cable en tubos protectores flexibles y colocando el tubo protector en un lugar lo más seguro posible. Los tubos protectores se pueden conectar por medio de conectores de unión a las cubiertas protectoras, (la cubierta protectora de Geokon tiene una pieza removible que cuando se empuja proporciona un agujero para conectar el conector de tubos conectores) y a la consola de lectura . Una consola de lectura típica tiene una cubierta embisagrada y con empaquetadura metálica que mantiene los extremos de los cables principales y/o enchufes limpios y secos. Alternativamente, si se van a leer muchos deformímetros en el mismo lugar, se puede instalar una caja de cables. El panel frontal en la caja de cables puede tener un interruptor giratorio o enchufe hembra o clavijas, que facilitarán la conexión de los varios deformímetros al cable de conexión desde la Consola de Lectura.

Los cables se pueden empalmar (refuerzo armado) para alargarlos sin afectar las lecturas. Siempre el empalme debe ser a prueba de agua, de preferencia usando un juego de empalme a base de material epoxídico como el 3M Scotchcast™, modelo 82-A1.

Los cables pueden estar terminados mediante desforramiento y estañado y conectados al cable de conexión desde la Consola de Lectura portátil, o se puede usar un enchufe que se conectará directamente a la Consola de Lectura o a un receptáculo o cable de conexión especial.

3.5 Protección Contra Rayos

El Deformímetro de Cuerda Vibrante Modelo 4000, a diferencia de otros numerosos tipos de instrumentación disponibles de Geokon, no tiene componentes integrales de protección contra rayos, es decir, diodo transitorio de supresión de voltaje o supresores de picos de voltaje de plasma.

A continuación unas cuantas sugestiones:

- Si el Deformímetro está conectado a una caja de cables o a multiplexores se pueden instalar componentes como los supresores de picos de voltaje (descarga disruptiva) en la caja de cables/multiplexor para suministrar una medida de protección transitoria. Las cajas de cables y multiplexores disponibles de Geokon proporcionan lugares para la instalación de estos componentes.
- Geokon cuenta con tableros de pararrayos y compartimentos, que se instalan en el punto de salida del cable del instrumento desde la estructura que se está monitoreando. El compartimento tiene una parte superior desprendible, de manera que en caso que se dañe el tablero de protección (LAB-3), el usuario puede dar servicio a los componentes (o reemplazar el tablero). Se hace una conexión entre este compartimento y la conexión a tierra para facilitar que la corriente momentánea se desvíe del deformímetro. Ver la Figura 5. Consulte la fábrica para información adicional sobre estos esquemas de protección contra rayos.
- Los supresores de picos de voltaje de plasma se pueden embeber en una resina epoxi en el cable del deformímetro cerca del sensor. Una tira de puesta a tierra conectaría el supresor de picos de voltaje a la conexión a tierra, ya sea a una estaca o a la propia estructura de acero.

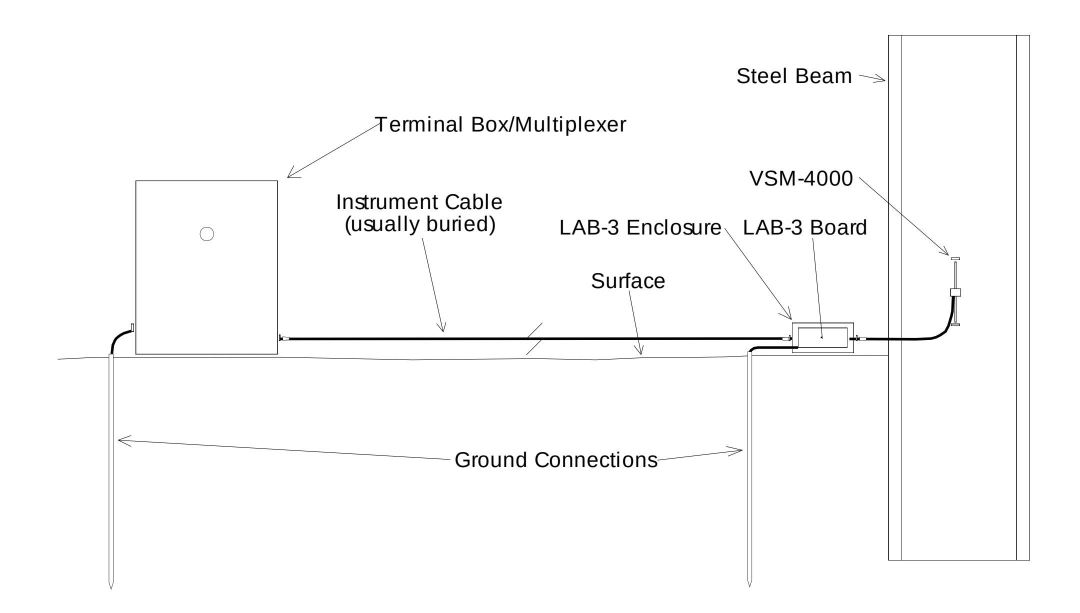


Figura 5 - Esquema de Protección contra Rayos

4. UBICACIÓN DEL DEFORMÍMETRO

4.1 Efectos en los Extremos

Si se van a evitar los efectos en los extremos entonces los deformímetros se deben colocar lejos de los extremos de los puntales donde se pueden ver influenciados por distorsiones localizadas de las abrazaderas y pernos. Para la mayoría de las piezas estructurales una distancia de 5 pies es suficiente. Por otro lado, los efectos finales pueden ser de interés debido a que añaden a la carga efectos inducidos y pueden ser lo suficientemente grandes para iniciar una falla más bien en los extremos que en medio de la pieza estructural.

4.2 Efectos de la Soldadura

El arcosoldado cerca de los deformímetros puede ocasionar esfuerzos bastante grandes localizados en la pieza de acero. Por lo tanto, soldar los pernos en pilotes verticales para soportar el revestimiento térmico, o malla de refuerzo de concreto lanzado, etc., puede ocasionar grandes cambios en las deformaciones al soldar las cubiertas protectoras o canales de protección, etc., sobre los deformímetros y cables. Siempre tome las lecturas antes y después de cualquier arcosoldado sobre la estructura de acero para que se puedan aplicar las correcciones a cualquier cambio aparente de deformación.

4.3 Momentos de Flexión

En el caso de una estructura de acero, un deformímetro mide las deformaciones en un punto en la superficie y esto sería suficiente si se pudiera garantizar que no está ocurriendo una flexión en la pieza. En la práctica, esto solamente ocurrirá cerca del centro de piezas largas delgadas sometidas a cargas de tensión. En cualquier otro lugar, **los momentos de flexión son la regla más que la excepción**, y habrá un eje neutral alrededor del cual acontece la flexión.

Puesto que los efectos de la flexión se deben tomar en cuenta, entonces se requiere más de un deformímetro en cada sección transversal de la pieza estructural, y para un análisis completo se requieren por lo menos tres deformímetros y frecuentemente más. En el **puntal de un tubo circular** tres deformímetros espaciados a 120° alrededor de la periferia del puntal serían suficientes. (Ver el Apéndice G). En un **pilote H o viga I**, se requerirían por los menos cuatro deformímetros, y en un tablestacado se requerirán dos deformímetros consecutivos en cualquier lado del pilote. (Cuando una pieza está sujeta a flexión y **solamente la superficie frontal es accesible**, por ejemplo, el blindaje de acero de una galería o el exterior de tablestacados, se pueden medir los momentos de flexión instalando dos deformímetros de cuerda vibrante a diferentes distancias del eje neutral). (Ver el Apéndice H).

Considere el ejemplo de una **viga-I** que se muestra en la Figura 6A.

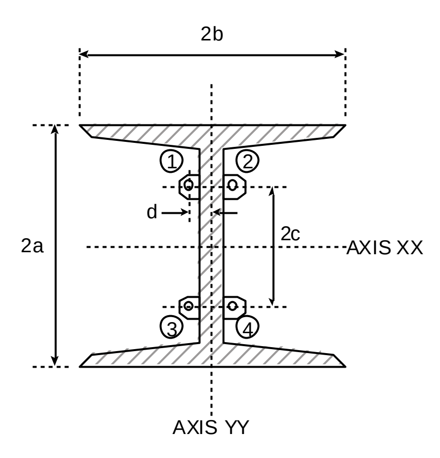


Figura 6A - Deformímetros Montados en el Alma (refuerzo armado) Central miden el Esfuerzo Axial y los Momentos de Tensión Alrededor de Ambos Ejes XX e YY

Cuatro deformímetros (1, 2, 3 y 4) están soldados en dos pares uno tras otro en el alma (refuerzo armado) central. Los deformímetros se encuentran a una altura (d) arriba del alma (refuerzo armado) (eje yy) y separados a una distancia (2c). La viga-I tiene una brida (ancho 2b) y un alma (refuerzo armado) (profundidad 2a)
El esfuerzo axial se da promediando la lectura de todos los deformímetros y multiplicándola por el módulo.

$$\sigma_{axial} = \frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4)}{4} \times E$$

Ecuación 1 - Cálculo del Esfuerzo Axial

El esfuerzo debido a la flexión se calcula viendo la diferencia entre los pares de deformímetros montados en lados opuestos del eje neutral. Por lo tanto el esfuerzo máximo debido a la flexión alrededor del eje yy se obtiene como sigue:

$$\sigma_{yy} = \frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_3) - (\varepsilon_2 + \varepsilon_4)}{4} \times \frac{b}{d} \times E$$

Ecuación 2 - Esfuerzo debido a la flexión en el Eje yy

El esfuerzo máximo debido a la flexión alrededor de eje xx se obtiene como sigue:

$$\sigma_{xx} = \frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) - (\varepsilon_3 + \varepsilon_4)}{4} \times \frac{a}{c} \times E$$

Ecuación 3- Esfuerzo debido a la flexión en el Eje xx

$$\sigma_{max\,imum} = \sigma_{axial} + \sigma_{xx} + \sigma_{yy}$$

Ecuación 4 - Esfuerzo Máximo

En todos los cálculos anteriores ponga atención estricta al signo del esfuerzo.

Nótese que el esfuerzo total, en cualquier punto en la sección transversal, es la suma algebraica de los esfuerzos de flexión y el esfuerzo axial. Se observará que los esfuerzos en las esquinas exteriores de la brida pueden ser mayores que los esfuerzos medidos en el alma (refuerzo armado) y que la falla de la sección se puede iniciar en estos puntos, por lo tanto la importancia de analizar los momentos de flexión.

La consideración anterior también parecería llevar a la conclusión, desde el punto de vista de obtener la mejor medida de los esfuerzos máximos, que el mejor lugar para los deformímetros sería en las esquinas exteriores de las bridas como se muestra en la Figura 6B. La desventaja de tener los deformímetros ubicados aquí estriba en la dificultad de proteger los deformímetros y los cables de algún daño accidental. Sin embargo, un **problema más serio** se puede originar del hecho de que **cada uno de los 4 deformímetros puede estar sujeto a fuerzas de flexión localizadas que afectan solamente a un deformímetro, pero no a los otros.** No es poco frecuente que la soldadura se lleve a cabo en puntos cercanos a un deformímetro y que a menudo esto produzca cambios en cualquier deformímetro cercano. No es poco frecuente tampoco que bloqueos locales (por ej. soportes de arcos de túneles) y la adición de puntales ocasionen cambios no solamente en un solo deformímetro cercano.

Siempre es mejor ubicar los deformímetros en pares, uno en cualquier lado del eje neutral de la parte de la viga-I a la cual se fija el deformímetro. Esto es la razón de por que la configuración 6A es preferible. También existe la ventaja adicional de que los deformímetros colocados en el alma (refuerzo armado), como se muestra en la Figura 6A son mucho más fáciles de proteger.

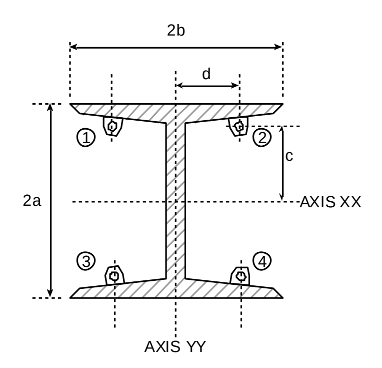


Figura 6B - Deformímetros Montados en Bridas **(No Recomendados en Arcos de Túneles)**

Si por motivos de economía, se decide que solamente se van a usar dos deformímetros, entonces la configuración de la figura 6C dará los esfuerzos axiales y el momento de flexión alrededor del eje YY menor solamente.

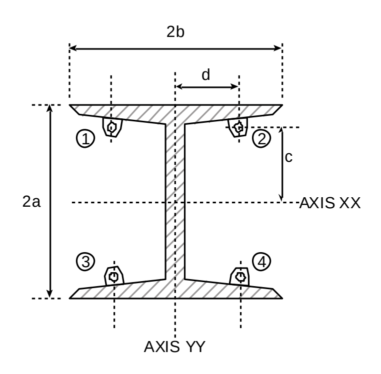


Figura 6C - Medición del Esfuerzo Axial y del Momento de Flexión alrededor del eje YY solamente

Esta configuración tiene la ventaja de posicionar los deformímetros y cables donde son fáciles de proteger. De hecho el cable de un Deformímetro se puede pasar a través de un agujero perforado en el alma (refuerzo armado) para que ambos cables se puedan proteger dentro de un solo conducto.

Otra configuración de 2 deformímetros que se ha usado se muestra en la figura 6D.

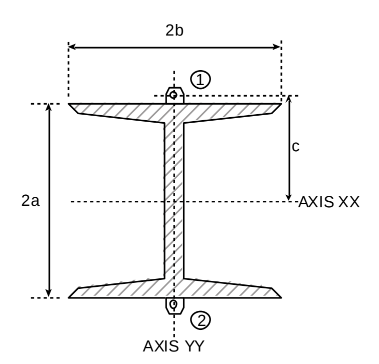


Figura 6D - Esfuerzo Axial y Momentos de Flexión alrededor de eje XX

Esta configuración permite el cálculo de los esfuerzos axiales y del momento de flexión alrededor del eje mayor XX. Una desventaja estriba en la posición expuesta de los deformímetros en el exterior de las bridas que requerirán un mayor grado de protección para los deformímetros y los cables. Tiene la gran desventaja que la flexión local en un deformímetro no se puede sentir en el otro. Por ejemplo, en un caso la soldadura en la brida expuesta de un pilote vertical, cerca de un deformímetro, produjo grandes cambios en el esfuerzo que no se sintieron en el otro deformímetro en la parte trasera del pilote.

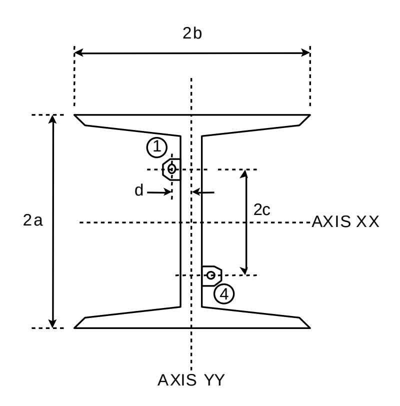


Figura 6E - Esfuerzo Axial y Momento de Flexión alrededor de eje XX (**No se recomienda)**

La configuración que se muestra en la figura 6E se ha usado para permitir el cálculo de los esfuerzos axiales y también para proveer una medida del momento de flexión alrededor de eje mayor XX. Pero cualquier flexión alrededor de eje menor YY afectará la lectura en algún grado. Más importante, existe el riesgo de que se vea afectado un deformímetro por la flexión local sin que se vea afectado el otro. No se recomienda esta configuración.

5. APLICACIONES ESPECIALES

5.1 Instalación en Pilotes de Acero Dirigidos.

Los deformímetros Modelo 4000, y sus cables, montados en pilotes de acero necesitan estar protegidos de raspaduras en lo que el pilote se clava en la tierra. Se brinda la protección mediante canales de soldeo o hierro en ángulo sobre la parte superior de los deformímetros y cables como se muestra en la figura 7 siguiente.

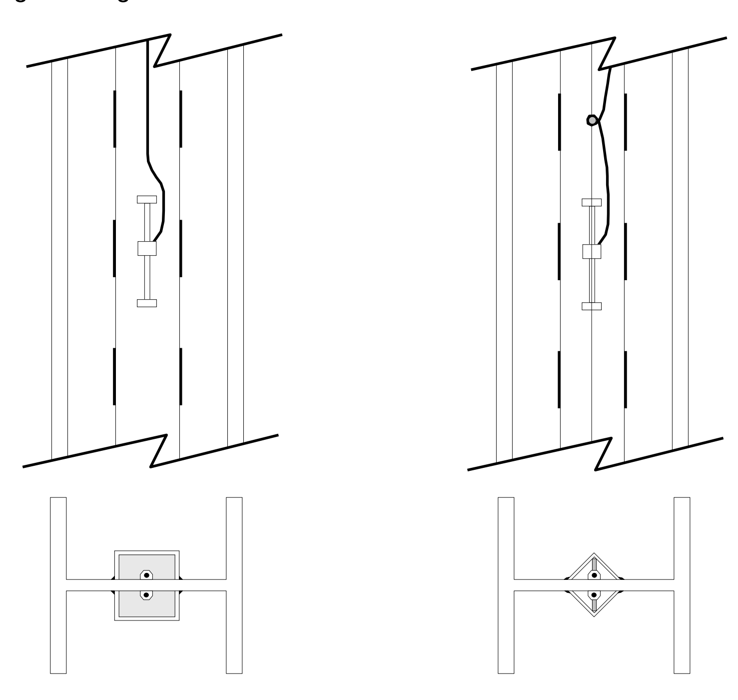


Figura 7 - Protección en Pilotes Hincados

Los canales se pueden hacer de hierro en U (4" x 1 ½ "), o de hierro en ángulo (2 ½ pulgadas mínimo). Si es posible, los canales y ángulos se deben soldar antes de que se instalen los deformímetros y los cables. Deje ventanas sobre los lugares de los deformímetros para que se puedan soldar en su lugar. Selle las ventanas soldando una sección del ángulo sobre la ventana (o una placa si se usan canales). Esto evitará que los cables se quemen. No es necesario usar soldadura continua, la soldadura por puntos bastará en tanto que sostenga los ángulos o canales firmemente en su lugar. Los cables deben estar sujetados mediante **soldadura de pernos a intervalos de 3 metros** a los cuales se pueden unir los cables.

Para evitar daños de choque se debe tener cuidado especial en lo siguiente:

- Los bloques de montaje se deben instalar de manera que el bloque superior sea el que tenga el único tornillo de presión.
- Los tornillos de presión que sostienen el deformímetro dentro de los bloques de montaje se deben apretar muy bien con Loctite en las roscas.
- Se debe usar adhesivo epoxídico en la bobina para unirla al área plana del tubo del deformímetro.
- La abrazadera de la manguera que sostiene la bobina en el deformímetro se debe apretar muy bien con una llave para tuercas.

5.2 Instalación en Superficies de Acero o Concreto usando Adhesivos Epoxídicos.

Los deformímetros de Geokon se pueden unir con adhesivo epoxídico a superficies de acero o concreto si se tiene el cuidado apropiado para limpiar las superficies que se van a unir y si se permite el tiempo suficiente para que el adhesivo epoxídico cure antes de que los deformímetros se fijen a los bloques de montaje.

5.2.1 Superficies de Concreto:

Materiales

Plastiacero Submarino Devcon P/N 11800
Adhesivo Instantáneo Loctite 410 P/N 41045

1. Mezcle una pequeña cantidad de las dos partes del adhesivo epoxídico submarino. La relación es 1/1
2. Frote o lije las superficies que se van a unir (esto incluye tanto el concreto como los extremos de las superficies del bloque) y después limpie con aire comprimido o limpiador en aerosol.
3. Fije los bloques de montaje a la plantilla espaciadora, conforme a la sección 2.2.
4. Aplique una capa delgada del adhesivo epoxídico mezclado previamente a 2/3 del centro del bloque de montaje (vea el esquema siguiente).
5. Aplique una capa delgada del adhesivo instantáneo 410 a las orillas externas de los bloques de montaje.
6. Presione el montaje firmemente contra la superficie 2 minutos.
7. Retire cuidadosamente la barra espaciadora de los bloques de montaje.
8. Deje que pasen 24 horas antes de que instale los deformímetros.

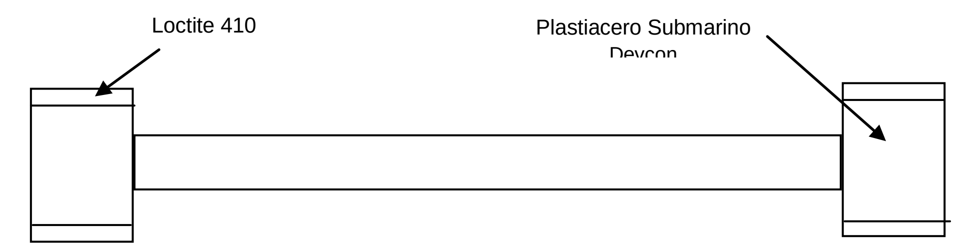


Figura 8 - Instalación usando Adhesivo Epoxídico

5.2.2 Superficies de Acero:

Use Loctite Speedbonder H4500. Se puede adquirir en forma de Cartucho que despacha automáticamente las dos partes del adhesivo en su mezcla correcta 10/1. El adhesivo se fija a su máxima resistencia en 10 minutos durante los cuales los bloques de montaje se deben presionar contra la superficie usando la mano o pesas o imanes.

5.3 Instalación en Superficies de Concreto usando pernos de anclaje

Utilizando el deformímetro de Cuerda Vibrante Modelo 4000 se pueden medir las deformaciones en la superficie del concreto fijando el deformímetro a la superficie del concreto usando el siguiente método:

Rellene con lechada de cemento los extremos de los bloques montados con pernos especiales (Parte No. 400-5) en los agujeros perforados en el concreto. Una plantilla está disponible, (Modelo 4000-11) para perforar dos agujeros profundos de 2 1/2" en el concreto con el espaciado apropiado. Los agujeros deben tener un diámetro mínimo de ½ ". Los bloques de montaje están conectados a la barra espaciadora usando el bloque espaciador, (ver la sección 2.2) para colocarlos adecuadamente. Después los pernos se enlechan en los agujeros previamente perforados usando un cemento hidráulico de fraguado rápido o adhesivo epoxídico de gran resistencia.

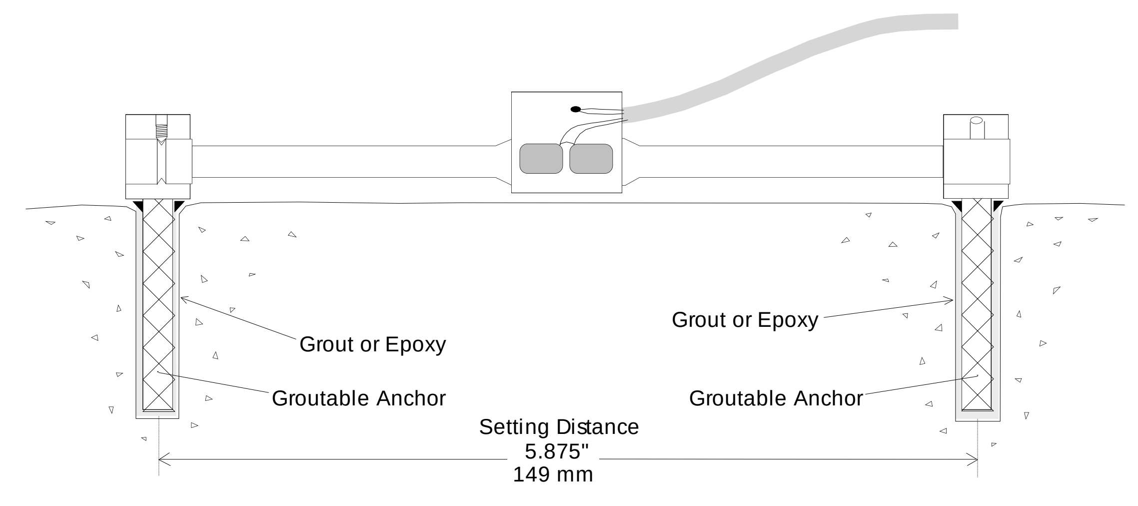


Figura 9 - Instalación en Concreto usando Anclaje Cementable

6. TOMANDO LECTURAS

Las tres secciones siguientes describen cómo tomar lecturas usando cualquiera de los dos lectores disponibles de Geokon.

Modelo:	4000	4050
Posición del Lector	C	B
Unidades de Despliegue:	micro esfuerzos ($\mu\varepsilon$)	dígitos ($f^2 \times 10^{-3}$)
Rango de Frecuencia:	450-1250 Hz	1400-3200 Hz
Lectura de Rango Medio	2500 $\mu\varepsilon$	6000 dígitos
Lectura Mínima:	1000 $\mu\varepsilon$	2000 dígitos
Lectura Máxima:	4000 $\mu\varepsilon$	10000 dígitos

Tabla 1 - Rangos de Lectura del deformímetro

6.1. Operación de la Consola de Lectura GK-403

El GK-403 puede almacenar lecturas y también aplicar factores de calibración para convertir las lecturas a unidades de ingeniería. Consulte el Manual de Instrucciones GK-403 para información adicional sobre el Modo "G" del Lector. El GK-403 lee la temperatura del termistor directamente en grados C.

Conecte el Lector usando los cables volantes o en el caso de una estación de cables, con un conector. Las pinzas roja y negra son para el deformímetro de cuerda vibrante, los cables blanco y verde son para el termistor y el azul para el conductor a tierra.

1. Gire el selector a la posición "C" o "B". Vea la Tabla 1 para la posición correcta.
2. Encienda la unidad y aparecerá una lectura en la pantalla frontal. El último dígito puede cambiar uno o dos dígitos mientras se observa la lectura. Presione el botón "Store" para registrar el valor desplegado. Si no se despliega la lectura o es inestable ver la sección 5 para sugestiones de resolución de problemas. Se desplegará la lectura del termistor en la pantalla arriba de la lectura del deformímetro en grados centígrados.
3. La unidad se apagará automáticamente después de 2 minutos aproximadamente para conservar la energía.

6.2 Operación de la Consola de Lectura GK-404

El GK404 es una Consola de Lectura del tamaño de la palma de la mano que despliega el valor de la cuerda vibrante y la temperatura en grados centígrados.
La Consola de Lectura GK-404 se suministra con un cordón provisional para conectar los deformímetros de cuerda vibrante. Un extremo consistirá de un conector de 5 pines para conectarse a su enchufe respectivo de la caja del GK-404. El otro extremo consistirá de 5 conectores que terminan con pinzas de conexión. Nótese que los colores de las pinzas de conexión son rojo, negro, verde, blanco y azul. Los colores representan el cable positivo del deformímetro de cuerda vibrante (rojo), el cable negativo del deformímetro de cuerda vibrante (negro), el cable positivo del termistor (verde), el cable negativo del termistor (blanco) y el cable de toma a tierra del transductor (azul). Las pinzas se deben conectar a los colores respectivos de los cables desde el cable del deformímetro de cuerda vibrante.

Use el botón **POS** (Posición) para seleccionar la posición **B** y el botón MODE para seleccionar **μE** (micro esfuerzos).
Se pueden seleccionar otras funciones que se describen en el Manual GK-404.

El GK-404 continuará tomando medidas y desplegará las lecturas hasta que se oprima el botón OFF, o si está habilitado, cuando el temporizador Power-Off apague el GK-404.

El GK-404 monitorea continuamente el estado de las (2) baterías AA de 1.5V y cuando su voltaje combinado baje a 2V, se despliega el mensaje **Baterías Bajas** en la pantalla. En este punto se debe instalar un juego nuevo de baterías AA de 1.5V.

6.4 Medición de las Temperaturas

Cada deformímetro de cuerda vibrante está equipado con un termistor para leer la temperatura. El termistor da una salida de resistencia variable en lo que la temperatura cambia. Usualmente los cables blanco y verde están conectados al termistor interno.
Nota: Las cajas lectoras GK-403 y GK-404 leerán el termistor automáticamente y desplegarán la temperatura directamente en °C.

7. INTERPRETACION DE DATOS

Las lecturas en el Canal C de las consolas de lectura GK-401, GK-403 o GK-404 se despliegan directamente en micro esfuerzos con base en la ecuación teórica:

$$_{\text{teoría}}\,\mu\varepsilon = 4.062\,(f^{2} \times 10^{-3})$$

Donde $\mu\varepsilon$ es el micro esfuerzo y f es la frecuencia resonante de la cuerda vibrante.

7.1 Conversión de las Lecturas a Deformaciones de Esfuerzos

En la práctica el método de sujeción efectivamente acorta la cuerda vibrante ligeramente ocasionando que registre en exceso el esfuerzo. Esto efecto se elimina aplicando un factor de calibración por lote (B) que se proporciona con los deformímetros. (Un factor típico de calibración por lote para el deformímetro Modelo 4000 es 0.943 + 0.01). Por consiguiente:

$$\mu\varepsilon_{aparente} = (R_1 - R_0)B$$

Ecuación 5 - Cálculo de Esfuerzos Aparentes

donde R_0 es la lectura inicial en el Canal C y R_1 es una lectura posterior.
Nota: cuando (R_1 - R_0 es positiva, el esfuerzo es de tensión.
Este valor del esfuerzo aparente es el que se requiere para calcular los esfuerzos en las ecuaciones 2 a la 5 en la página 15. De esta manera estos esfuerzos calculados son el total de los ocasionados tanto por la actividad de construcción como por cualquier cambio en la temperatura que pudiese haber ocurrido.

7.2 Convirtiendo Deformaciones a Esfuerzos

Considerando que los deformímetros miden el esfuerzo o deformación de la estructura, el diseñador está más interesado en las cargas o esfuerzos estructurales. Esto requiere una conversión de las deformaciones medidas a esfuerzos calculados.

Los cambios en las deformaciones con el tiempo se calculan de las lecturas tomadas en varios momentos y, por comparación con algunas lecturas iniciales tomadas en el tiempo cero. Esta lectura inicial se toma mejor cuando la pieza estructural se encuentra bajo carga, es decir, los deformímetros se deben montar mientras que la pieza está todavía en la balanza o en el almacén.

Esto no siempre es posible y a menudos se instalan los deformímetros en piezas que se encuentran bajo alguna carga existente para que los cambios subsecuentes partan siempre de algún dato desconocido. Sin embargo, existe una técnica, el llamado “Método de Perforación de un Agujero Ciego” (Photolastic 1977), mediante el cual se pueden medir los esfuerzos residuales o existentes. El procedimiento es cementar una roseta a la superficie y después analizar las deformaciones ocasionadas al perforar un agujero ciego corto en el centro de la roseta. Sin embargo, es un hecho bien conocido que las deformaciones se pueden bloquear en el acero durante su manufactura. (A menudo, la capa exterior de una pieza estructural de acero laminado se encuentra bajo tensión con relación al acero subyacente).

Algunas veces es posible, especialmente cuando se están monitoreando soportes temporales, medir la deformación en la pieza estructural después de que la estructura ha sido desmantelada. Esta lectura de no carga debe concordar con la lectura inicial de no carga si es que se obtuvo alguna. Cualquier falta de concordancia sería una indicación de que el cero está a la deriva aunque no se debe pasar por alto la posibilidad de alguna deformación plástica permanente de la pieza, particularmente cuando las deformaciones medidas fueron lo suficientemente altas para aproximarse al punto de deformación plástica.

Se deben registrar las temperaturas al momento de cada lectura junto con notas al respecto de la actividad de construcción que se está llevando a cabo. Estos datos pudieran proporcionar razones lógicas para los cambios observados en las lecturas.

8. SOLUCION DE PROBLEMAS

El mantenimiento y solución de problemas de los deformímetros de Cuerda Vibrante Modelo 4000 se reducen a verificaciones periódicas de las conexiones de los cables y el mantenimiento de las terminales. Una vez que están instalados, usualmente son inaccesibles y una acción correctiva está limitada.

En caso que se originen problemas, consulte la siguiente lista de problemas y soluciones posibles. Consulte la fábrica para ayuda adicional al respecto.

Síntoma: Las Lecturas del Deformímetro son Inestables

- ✓ ¿La posición de la Consola de Lectura se fijó correctamente? Si se usa un almacenador de datos para registrar las lecturas automáticamente, ¿están correctas las graduaciones de la excitación de la frecuencia por barrido?

- ✓ ¿Las lecturas están fuera del rango especificado (ya sea de compresión o de tensión) del instrumento? El deformímetro puede llegar a estar demasiado flojo o demasiado apretado; la inspección de los datos pudiera indicar que esta es una posibilidad: Afloje los dos tornillos de presión en uno de los bloques de montaje. Esto permitirá que el resorte interno vuelva a tensar el deformímetro y volverá a leer. Establezca en el deformímetro algún dato nuevo y vuelva a apretar los tornillos de presión. Si el deformímetro no responde y si la bobina vieja enciende un nuevo deformímetro, entonces se debe reemplazar el deformímetro.

- ✓ ¿Hay alguna fuente de ruido eléctrico cerca? Lo más probable es que las fuentes de ruido eléctrico sean motores, generadores y antenas. Aleje el equipo de la instalación o instale un filtrado electrónico. Asegúrese que el cable esté conectado a tierra usando un lector portátil o almacenador de datos.

- ✓ ¿El lector trabaja con otro deformímetro? Si no es el caso, el lector puede tener una batería baja o no esté funcionando correctamente.

Síntoma: El deformímetro no Puede Leer

- ✓ ¿Está cortado o aplastado el cable? Esto se puede verificar con un ohmímetro. La resistencia nominal entre los dos cables del deformímetro (usualmente el rojo y el negro) es de 180Ω, $\underline{+}$10Ω. Recuerde añadir resistencia al cable cuando verifique (los cables trenzados de cobre 22AWG son aproximadamente de 14.7Ω/1000’ o 48.5Ω/km, multiplique por 2 para ambas direcciones). Si la lectura de la resistencia es infinita, o muy alta (megaohms), se puede sospechar que un cable está cortado. Si la lectura de la resistencia es muy baja (<100Ω) es probable un cortocircuito. La fábrica cuenta con kits de empalme e instrucciones para reparar cables cortados o en corto. Consulte la fábrica para información adicional.

- ✓ ¿El lector o el almacenador de datos trabaja con otro deformímetro? Si no es el caso, el lector o el almacenador de datos pueden estar funcionando defectuosamente.

APENDICE A - ESPECIFICACIONES

	Modelo 4000	Modelo 4050
Rango (FS), (nominal):	3000 με	3000 με
Resolución:	1.0 με	1.0 με
Exactitud [1]:	Calibración en Serie +/- 0.5% FS Calibración ….+/- 0.1% FS	Calibración en Serie…+/- 0.5% FS Calibración Individual ….+/- 0.1% FS
Estabilidad Cero:	0.02% FS/yr	0.02% FS/yr
Linealidad:	+/- 0.5% FS	+/- 0.5% FS
Coeficiente Térmico:	12.2 με/°C	12.2 με/°C
Dimensiones (Deformímetro): (Largo × Diámetro)	6.125 × 0.750" 155 × 19 mm	12.625" x 0.750" 645 × 19 mm
Dimensiones (bobina):	0.875 × 0.875" 22 × 22 mm	Interna
Rango de Frecuencia:	450 – 1250 Hz	1400 – 3200 Hz
Resistencia de la Bobina	180 Ω	50 Ω
Rango de Temperatura	-20 to +80° C	-20 to +80° C

Nota:
[1] Usando técnicas de ajuste de curvas, (polinomio de Segundo grado).

A.2 Termistor (ver <u>Apéndice C</u> también)

Rango: -80 to +150° C
Exactitud: ±0.5° C

APENDICE B - TEORIA DEL FUNCIONAMIENTO

Una cuerda vibrante fijada a la superficie de un cuerpo deformante se deformará de igual manera. La deformación altera la tensión de la cuerda y por lo tanto su frecuencia natural de vibración (resonancia). La relación entre frecuencia (periodo) y deformación (esfuerzo) se describe como sigue:

1. La frecuencia fundamental (frecuencia resonante) de vibración de una cuerda está relacionada a su tensión, longitud y masa mediante la ecuación:

$$f = \frac{1}{2L_w}\sqrt{\frac{F}{m}}$$

Donde:
L_w es la longitud de la cuerda en pulgadas.
F es la tensión de la cuerda en libras.
m es la masa de la cuerda por longitud unitaria (libras, seg.2/pulg.^{2}).

2. Nótese que:

$$m = \frac{W}{L_w g}$$

Donde:;
W es el peso de L_w pulgadas de la cuerda (libras).
g es la aceleración de gravedad (386 pulg./seg.^{2}).

3. y:

$$W = \rho a L_w$$

Donde;
ρ es la densidad de la cuerda (0.283 lb./in.^{3}).
a es el área transversal de la cuerda (pulg.^{2}).

4. La combinación de las ecuaciones 1, 2 and 3 da como resultado:

$$f = \frac{1}{2L_w}\sqrt{\frac{Fg}{\rho a}}$$

5. Nótese que la tensión (F) se puede expresar en términos de esfuerzo, por e j.:

$$F = \varepsilon_w E a$$

Donde:
ε_w es el esfuerzo de la cuerda (pulg./pulg.).
E es el Módulo de Young de la cuerda (30 x 10^6 Psi).

6. La combinación de las ecuaciones 4 y 5 da como resultado:

$$f = \frac{1}{2L_w}\sqrt{\frac{\varepsilon_w Eg}{\rho}}$$

7. Sustituyendo los valores dados de E, g y ρ resulta en:

$$f = \frac{101142}{L_w}\sqrt{\varepsilon_w}$$

8. En el canal 'A', el cual despliega el periodo de vibración, T, multiplicado por un factor de 10^6;

$$T = \frac{10^6}{f}$$

9. La combinación de las ecuaciones 7 y 8 da como resultado:

$$\varepsilon_w = \frac{97.75 L_w{}^2}{T^2}$$

10. La ecuación 9 ahora se debe expresar en términos del esfuerzo en la superficie del cuerpo al cual se va a fijar el deformímetro. Puesto que la deformación del cuerpo debe ser igual a la deformación de la cuerda:

$$\varepsilon_w L_w = \varepsilon L_g$$

Donde:
ε es el esfuerzo en el cuerpo.
L_g es la longitud del Deformímetro (en pulgadas)

11. La combinación de las ecuaciones 9 y 10 da como resultado:

$$\varepsilon = \frac{97.75}{T^2} \cdot \frac{L_w{}^3}{L_g}$$

Donde: (para el deformímetro Modelo 4000)
L_W es 6.250 pulgadas.
L_g es 5.875 pulgadas.

12. Por lo tanto $\varepsilon = 4.062 \times 10^3 \left[\frac{1}{T^2}\right]$

(Nótese que T es en segundos x 10^6 and ε es en pulgadas por pulgada)

13. El despliegue en la posición "C" del Lector GK-401/403 se base en la ecuación:

$$\mu\varepsilon = 4.062 \times 10^9 \left[\frac{1}{T^2}\right]$$

Nótese que en esta formula ε es en micro pulgadas por pulgada y T es en segundos x 10^6

Alternativamente $\varepsilon = 4.062 \times 10^{-3} f^2$ micro esfuerzo. Donde f es la frecuencia en Hz

El microprocesador realiza internamente el elevado al cuadrado, inversión y multiplicación por el factor 4.062×10^9, para que la lectura desplegada en el Canal C se obtenga en términos de micropulgadas/pulgada ($\mu\varepsilon$).

APENDICE C - DERIVACION DE LA TEMPERATURA DEL TERMISTOR

Tipo de Termistor: YSI 44005, Dale #1C3001-B3, Alpha #13A3001-B3

Ecuación de Variación de la Resistencia con la Temperatura:

$$T = \frac{1}{A + B(LnR) + C(LnR)^3} - 273.2$$

Ecuación C-1 Convertir la Resistencia del Termistor a Temperatura

donde: T = Temperatura en °C.
LnR = Logaritmo Natural de la Resistencia del Termistor
A = 1.4051×10^{-3} (coeficientes calculados sobre el intervalo –50 a +150° C.)
B = 2.369×10^{-4}
C = 1.019×10^{-7}

Ohms	Temp	Ohms	Temp	Ohms	Temp	Ohms	Temp	Ohms	Temp
201.1K	-50	16.60K	-10	2417	+30	525.4	+70	153.2	+110
187.3K	-49	15.72K	-9	2317	31	507.8	71	149.0	111
174.5K	-48	14.90K	-8	2221	32	490.9	72	145.0	112
162.7K	-47	14.12K	-7	2130	33	474.7	73	141.1	113
151.7K	-46	13.39K	-6	2042	34	459.0	74	137.2	114
141.6K	-45	12.70K	-5	1959	35	444.0	75	133.6	115
132.2K	-44	12.05K	-4	1880	36	429.5	76	130.0	116
123.5K	-43	11.44K	-3	1805	37	415.6	77	126.5	117
115.4K	-42	10.86K	-2	1733	38	402.2	78	123.2	118
107.9K	-41	10.31K	-1	1664	39	389.3	79	119.9	119
101.0K	-40	9796	0	1598	40	376.9	80	116.8	120
94.48K	-39	9310	+1	1535	41	364.9	81	113.8	121
88.46K	-38	8851	2	1475	42	353.4	82	110.8	122
82.87K	-37	8417	3	1418	43	342.2	83	107.9	123
77.66K	-36	8006	4	1363	44	331.5	84	105.2	124
72.81K	-35	7618	5	1310	45	321.2	85	102.5	125
68.30K	-34	7252	6	1260	46	311.3	86	99.9	126
64.09K	-33	6905	7	1212	47	301.7	87	97.3	127
60.17K	-32	6576	8	1167	48	292.4	88	94.9	128
56.51K	-31	6265	9	1123	49	283.5	89	92.5	129
53.10K	-30	5971	10	1081	50	274.9	90	90.2	130
49.91K	-29	5692	11	1040	51	266.6	91	87.9	131
46.94K	-28	5427	12	1002	52	258.6	92	85.7	132
44.16K	-27	5177	13	965.0	53	250.9	93	83.6	133
41.56K	-26	4939	14	929.6	54	243.4	94	81.6	134
39.13K	-25	4714	15	895.8	55	236.2	95	79.6	135
36.86K	-24	4500	16	863.3	56	229.3	96	77.6	136
34.73K	-23	4297	17	832.2	57	222.6	97	75.8	137
32.74K	-22	4105	18	802.3	58	216.1	98	73.9	138
30.87K	-21	3922	19	773.7	59	209.8	99	72.2	139
29.13K	-20	3748	20	746.3	60	203.8	100	70.4	140
27.49K	-19	3583	21	719.9	61	197.9	101	68.8	141
25.95K	-18	3426	22	694.7	62	192.2	102	67.1	142
24.51K	-17	3277	23	670.4	63	186.8	103	65.5	143
23.16K	-16	3135	24	647.1	64	181.5	104	64.0	144
21.89K	-15	**3000**	**25**	624.7	65	176.4	105	62.5	145
20.70K	-14	2872	26	603.3	66	171.4	106	61.1	146
19.58K	-13	2750	27	582.6	67	166.7	107	59.6	147
18.52K	-12	2633	28	562.8	68	162.0	108	58.3	148
17.53K	-11	2523	29	543.7	69	157.6	109	56.8	149
								55.6	150

Tabla C-1 - Resistencia del Termistor vs. Temperatura

APENDICE D - INSTRUCCIONES ESPECIALES PARA EL MODELO 4050 (12” DE LARGO

El deformímetro de Cuerda Vibrante Modelo 4050 es una versión modificada del Modelo 4000 diseñado para medir esfuerzos sobre una base más prolongada.

La Sección 2 del Manual de Instrucciones para el Modelo 4000 es aplicable, sin embargo, tome nota de las siguientes instrucciones especiales cuando use el Modelo 4050.

- El Modelo 4050 usa una barra espaciadora especial con un largo de 12 5/8”.
- Antes de la instalación del deformímetro, retire la arandela negra protectora que se encuentra entre el tubo y el extremo del bloque con la ranura ‘V’.
- El Modelo 4050 se lee en el **Canal B** de los Lectores GK-401 y GK-403. Para ajustar el deformímetro para toda la tensión la lectura debe ser aproximadamente 2000; para toda la comprensión, 1000; para un rango medio ajuste a 6000. Nota: Si se usa un CR10 se debe seleccionar un rango de excitación de 1400 - 3500 Hz.
- Para ajustar el deformímetro jale o empuje el extremo del tubo del deformímetro donde sale el cable (¡no el propio cable¡).
- Convierta la lectura en la posición B a microesfuerzo usando el factor individual de calibración (expresado en términos de microesfuerzo/dígito) que se proporciona con el instrumento.

$$\text{Microesfuerzo } (\mu\varepsilon) = (R_1 - R_0)GF$$

- Para corregir por efectos de la temperatura, solamente para el deformímetro, se usa la siguiente ecuación.

$$\text{Microesfuerzo } (\mu\varepsilon) = (R_1 - R_0)GF + (T_1 - T_0)K$$

R_1 = lectura actual (posición B)
R_0 = lectura inicial (posición B)
T_1 = temperatura actual (°C)
T_0 = temperatura inicial (°C)
K= +12.0 microesfuerzo/°C

Nota: Si el deformímetro se encuentra acoplado a acero, el efecto térmico es prácticamente cero. Si está montado en concreto, use el factor K de +2 microesfuerzo/°C

- **Otras longitudes de Deformímetros son posibles con el Modelo 4050. Consulte la fábrica para información adicional.**

APENDICE E - MEDICION Y CORRECCION POR EFECTOS DE TEMPERATURA

Si los extremos de la pieza estructural estuvieran libres para expandirse o contraerse sin restricción, entonces los cambios por deformación se llevarían a cabo sin ningún cambio en el esfuerzo. Y en estas situaciones el deformímetro realmente no mostraría ningún cambio en la lectura. A la inversa, si los extremos de una pieza estructural de acero estuvieran limitados por algún medio semi rígido, entonces cualquier aumento de temperatura en la pieza estructural resultaría en un incremento en la deformación por compresión en la pieza. (¡Aún cuando la deformación real fuera por tracción!). El deformímetro mediría con exactitud la magnitud de este aumento en la deformación por compresión inducido por la temperatura. (Debido a que mientras que la pieza está limitada para expandirse, la cuerda vibrante no está limitada y la expansión de la cuerda ocasionaría una reducción en la tracción y una disminución resultante en la frecuencia vibracional. Esto estaría indicado por una disminución en la lectura en la Consola de Lectura, correspondiendo a un aumento aparente en la deformación por compresión, lo cual es sorprendente de decir, exactamente igual al aumento inducido por la temperatura en la deformación por compresión de la pieza).

Las deformaciones inducidas por la temperatura se pueden separar de las deformaciones inducidas por cargas al leer tanto la deformación y la temperatura de los deformímetros en intervalos frecuentes sobre un periodo de tiempo en el que la carga externa de la actividad de la construcción se puede asumir como constante. Cuando estos cambios por deformación se trazan contra los cambios correspondientes por temperatura, la gráfica resultante muestra una relación de línea recta, la pendiente de la cual produce un factor K_T. Este factor se puede usar para calcular la deformación inducida por la temperatura

$$\sigma_{termal} = K_T (T_1 - T_0) E \ldots\ldots E1$$

El cual si se desea se puede restar del cambio aparente por deformación observado

$$\sigma_{aparente} = (R_1 - R_0) B E \ldots\ldots E2$$

para dar esa parte del cambio por deformación debido a las cargas por actividad en la construcción solamente

$$\sigma_{carga} = [(R_1 - R_0) B - K_T (T_1 - T_0)] E \ldots\ldots E3$$

Obsérvese que la corrección del factor, K_T, puede cambiar con el tiempo y con la actividad de la construcción debido al hecho de que la rigidez de la restricción puede cambiar. Por lo que puede ser una buena idea repetir el procedimiento anterior para calcular un nuevo factor de corrección de la temperatura.

Si por cualquier razón, se requiere la deformación efectiva de la pieza de acero, es decir, el cambio de la longitud unitaria que sería medida, por decir, por un deformímetro para cuadrante fijado a la superficie, esto se obtendría de la ecuación

$$\mu\varepsilon_{efectiva} = (R_1 - R_0) B + (T_1 - T_0) \times CF_1 \ldots\ldots E4$$

Donde CF_1 representa el coeficiente de expansión del acero = +12.2 microesfuerzo/°C.

APENDICE F - CORRECCION DE LA TEMPERATURA CUANDO SE USA EN CONCRETO

En un campo libre, donde no están actuando cargas, las deformaciones térmicas del concreto se obtienen mediante la siguiente ecuación:

$$\mu\varepsilon_{thermal} = (T_1 - T_0) \times CF_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{G1}$$

CF_2 representa el coeficiente de expansión del concreto. A menos que esta figura sea conocida, asuma un valor nominal de +10.4 microesfuerzo/°C.

Si por cualquier razón, se requiere la deformación efectiva del concreto, es decir, el cambio de la longitud unitaria que sería medida, por decir, por un deformímetro para cuadrante fijado a la superficie, esto se obtendría de la ecuación

$$\mu\varepsilon_{\ efetiva} = (R_1 - R_0)B + (T_1 - T_0) x\ CF_1 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{G2}$$

Donde CF_1 representa el coeficiente de expansión del acero = +12.2 microesfuerzo/°C,
y $(R_1\text{-}R_0)B$ es la deformación aparente registrada por la Consola de Lectura,

Para calcular la deformación en el concreto debido a cambios de carga solamente;

$$\mu\varepsilon_{load} = \mu\varepsilon_{actual} - \mu\varepsilon_{thermal} = (R_1 - R_0)B + (T_1 - T_0) \times (CF_1 - CF_2) \ldots\ldots\ldots \text{G3}$$

Observe el siguiente ejemplo, donde B = 0.91

R_0 = 3000 microesfuerzo, T_0 = 20°C

R_1 = 2900 microesfuerzo, T_1 = 30°C

$$\mu\varepsilon_{apparent} = (2900 - 3000) \times 0.91 = -91(compressive)$$

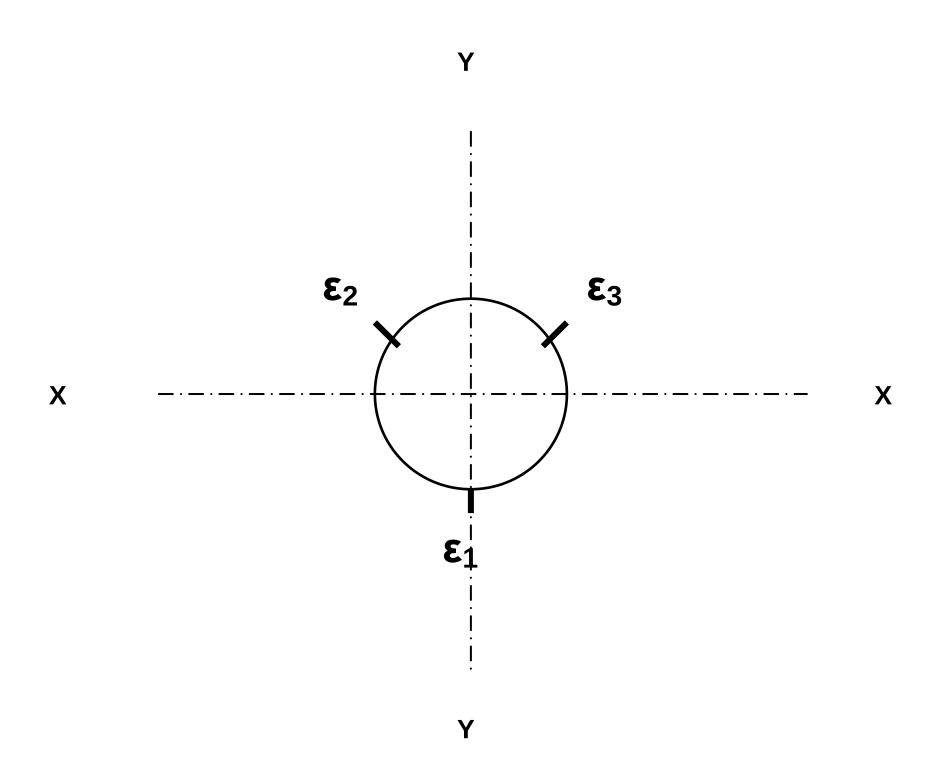
$$\mu\varepsilon_{actual} = (2900 - 3000) \times 0.91 + (30 - 20) \times 12.2 = +31(tensile)$$

$$\mu\varepsilon_{thermal} = (30 - 20) \times 10.4 = +104(tensile)$$

$$\mu\varepsilon_{load} = (2900 - 3000) \times 0.91 + (30 - 20) \times (12.2 - 10.4) = -73(compressive)$$

Nota: Ya que se han hecho las suposiciones con respecto a los coeficientes térmicos para el concreto, estas ecuaciones solamente se deben usar como una guía general.

APENDICE G - CALCULO DE LAS CARGAS AXIALES Y DEFORMACIONES POR FLEXION DE TRES DEFORMIMETROS EN UN TUBO CIRCULAR



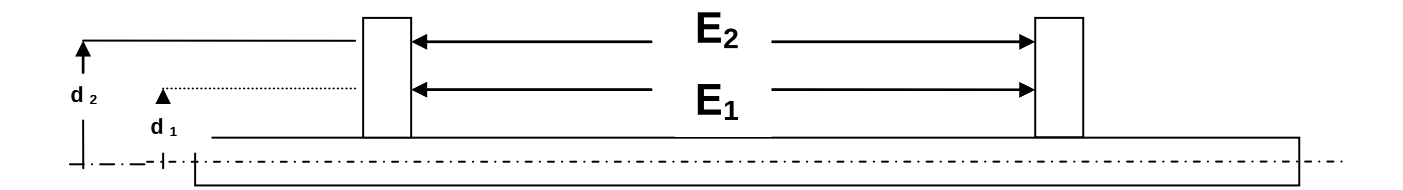
Deformación Axial Promedio = $(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3)/3$

Deformación por Flexión alrededor del Eje YY = $(\varepsilon_2 - \varepsilon_3)/1.732$

Deformación por Flexión alrededor del Eje XX = $(\varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_1)/2$

APENDICE H - DOS DEFORMIMETROS MONTADOS UNO ARRIBA DEL OTRO

Cuando solamente una superficie de la pieza de fijación es accesible, entonces se pueden usar dos deformímetros uno montado arriba del otro, para separar las deformaciones axiales de las ocasionadas por flexión.



E_1 y **E_2** son dos deformaciones medidas a las distancias **d_1** y **d_2** desde el eje neutral de una pieza de acero (por ej. tablestacas)

If $R = d_2/d_1$

La deformación Axial a lo largo del eje neutral = **$(RE_1 - E_2)/(R-1)$**

La Deformación por Flexión a una distancia d_1 desde el eje neutral = $(E_2 – E_1)/(R-1)$